

Запропоновано встановити додаткове енергогенеруюче обладнання загальною потужністю 5 МВт, що дасть можливість отримати річний EBITDA на 1 МВт потужностей у розмірі 0,53 млн євро, а чистий прибуток – у розмірі 0,44 млн євро.

Література

- 1 Варченко О. М. Економічний механізм регулювання ринку біопалива у провідних країнах світу [Текст] / О. М. Варченко, К. В. Слупян // Вісник аграрної науки. – 2009. – № 11. – С. 62.
- 2 Гелетука Г. Г. Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Часть 1 [Текст] / Г. Г. Гелетука, Т. А. Железная, А. В. Трибой // Промышленная теплотехника. – 2014. – Т. 36. – № 4. – С. 36–42.
- 3 Карачна Н. П. Економічні аспекти державних витрат та необхідність державної підтримки ринку біопалива [Електронний ресурс] / Н. П. Карачна, Р. В. Чайка // Ефективна економіка. – 2012. – № 3. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=1008>
- 4 Енергетика України на шляху до європейської інтеграції [Текст]: монографія / А. І. Шевцов, М. Г. Земляний, А. З. Дорошкевич. – Дніпропетровськ : Національний інститут стратегічних досліджень, 2004. – 148 с.
- 5 Калетник Г. М. Розвиток біопалива у Європі [Текст] / Г. М. Калетник // Економіка АПК. – 2008. – № 9. – С. 99.
- 6 Компания «Евгройл» запустила теплоэнергетический комплекс. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eugroil.com.ua/ewdsfsdf/%D1%81%D0%BC%D0%B8-%D0%BF%D1%80%D0%BE-%D0%BD%D0%B0%D1%8>
- 7 Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні [Текст]: практичний посібник / За ред. Г. Г. Гелетука. – К. : «Поліграф плюс», 2015. – 72 с.
- 8 Постанова № 1688 від 19.12.2013 року «Про встановлення «зеленого» тарифу ТОВ «АПК «Євгройл» [Електронний ресурс] // Офіційний сайт національної комісії, що здійснює національне регулювання у сфері енергетики. – Режим доступу: <http://www3.nerc.gov.ua/?id=9017>
- 9 Талавирич М. П. Розвиток та застосування різних видів біоенергетики [Текст] : монографія / М. П. Талавирич, О. Д. Барановська, М. В. Добрівська. – Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2012. – 180 с.

© І. В. Ремешевська,
Н. В. Гурець,
О. А. Омельчук

*Надійшла до редакції 13 листопада 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. тех. наук О. М. Мандрик*

УДК 629.015: 625.7 (07)

*Л. С. Шелудченко
Подільський державний
аграрно-технічний університет*

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ “ПАЛЬНЕ-ВИКИДИ”. СКЛАД ТА ОБСЯГИ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ, ЯКІ ПРОДУКУЮТЬСЯ АВТОТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ

На підставі хіміко-термічного аналізу процесів згоряння вуглеводневого пального у двигунах внутрішнього згоряння автотранспортних засобів, наведено результати аналітичного оцінювання обсягів токсичних та шкідливих газових викидів автотранспортними потоками за такими інгредієнтами як CO, CO₂, N_xO_y, вуглеводні, зокрема C₂₀H₁₂, залежно від інтенсивності

і частки вантажних автомобілів у транспортному потоці, режиму руху транспортних засобів та обсягів витрат палива.

Ключові слова: автотранспортний потік, матеріальний баланс вуглеводневого пального, продукти згоряння, газові викиди.

On the basis of thermochemical analysis of combustion processes of hydrocarbon fuels in internal combustion engines of motor vehicles, the results of analytical evaluation of volumes of toxic and harmful gas emissions from motor vehicles flows on such ingredients like CO, CO₂, N_xO_y, hydrocarbons, including C₂₀H₁₂, depending on the intensity and the proportion of trucks in traffic flow, mode of movement of vehicles and amount of fuel.

Key words: transport stream, material balance of hydrocarbon fuels, combustion products, gas emissions.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Перетворення хімічної енергії транспортних палив в роботу вантажо- та пасажиропотоків [1, 2] призводить до утворення шкідливих викидів, які, як правило, є токсичними відпрацьованими газами автомобільних двигунів. Тому, оцінка матеріального балансу “пальне – викиди автотранспортних засобів” є надзвичайно важливою з точки зору визначення рівнів екологічної безпеки автотранспортних комплексів, розробки заходів захисту придорожніх територій та екологічної раціоналізації природно-техногенних геоекосистем з розвинутою автотранспортною мережею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. В двигунах внутрішнього згоряння автотранспортних засобів відбуваються процеси ламінарного і турбулентного гомогенного згоряння пального, які взаємодіють з речовинами, що перебувають у вигляді парів рідкої фази з використанням кисню, який міститься в атмосферному повітрі [3]. Основним джерелом енергії при згорянні палив є окиснення атомів вуглецю *C* та водню *H*. Окрім зазначених компонентів, пальне може містити в незначних кількостях сірку, сполуки нітрогену, спирти, ефіри, важкі метали [3, 5].

“Умовну молекулу” рідкого пального можна зобразити в загальному вигляді як $C_xH_yO_z$ (для пального, яке містить нітроген – $C_xH_yO_zN_g$, які містять сірку – $C_xH_yO_zN_gS_k$). Робочий матеріальний баланс пального формується через масовий вміст його окремих елементів і визначається як [3]:

$$w_C + w_H + w_O + w_N + w_S = 1 \quad (1)$$

де *w* – масові частки окремих елементів в 1 кг пального.

Якщо знехтувати значеннями w_N та w_S , отримуємо:

$$w_C + w_H + w_O = 1 \quad (2)$$

Частки маси *w* окремих елементів в 1 кг пального $C_xH_yO_z$ визначаються як [3]:

$$\begin{cases} w_C = \frac{12x}{12x + y + 16z} = \frac{12x}{M_T} \\ w_H = \frac{y}{12x + y + 16z} = \frac{y}{M_T} \\ w_O = \frac{16z}{12x + y + 16z} = \frac{16z}{M_T} \end{cases} \quad (3)$$

де M_m – молярна маса “умовної молекули” пального.

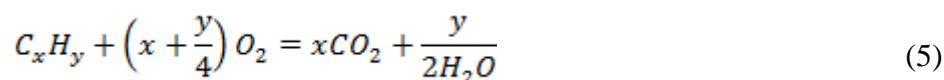
Виділення раніше невіршених частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для пального (бензин, дизельне пальне) наявність кисню можна знехтувати і “умовна молекула” пального набуває вигляду C_xH_y , а отже:

$$M_r = 12x + y \quad (4)$$

Для визначення співвідношення між кількістю вихідних продуктів згоряння (паливо і кисень атмосферного повітря) і відпрацьованими газами двигуна, необхідно зробити такі припущення:

- всі хімічні сполуки складаються з атомів окремих елементів, які пов'язані між собою у визначених числових співвідношеннях;
- в хімічних реакціях атоми речовин зберігають свою ідентичність і відбувається лише їх перегрупування.

Повне згоряння (окиснення) молекули пального C_xH_y до кінцевих продуктів (діоксид вуглецю CO_2 та водяної пари H_2O) визначається рівнянням (в кмоль) [3, 5]:



x атомів C в 1 кмоль C_xH_y дають x кмоль CO_2 , $N_{CO_2} = x$;

y атомів H в 1 кмоль C_xH_y дають $y/2$ кмоль H_2O , $N_{H_2O} = y/2$.

Склад продуктів згоряння в перерахунку на 1 кг пального ($1/M_r$, кмоль) становитиме:

$$\begin{cases} N_{CO_2} = \frac{x}{M_r} = \frac{x}{12x + y} \\ N_{H_2O} = \frac{y}{2} M_r = \frac{y/2}{12x + y} \end{cases} \quad (6)$$

або через елементний склад, з урахуванням (3) отримуємо:

$$\begin{cases} N_{CO_2} = \frac{w_C}{12} \\ N_{H_2O} = \frac{w_H}{2} \end{cases} \quad (7)$$

В реакції беруть участь $(x+y)/4$ кмоль O_2 , $N_{O_2} = x + y/4$.

Формулювання мети статті. Встановити обсяги газоподібних викидів, які продукуються автотранспортними потоками з різною інтенсивністю колективного руху транспортних засобів.

Виклад основного матеріалу. Кількість кисню (кмоль), необхідна для повного згоряння пального, визначена на підставі (5) є стехіометричною і визначається як [3]:

$$N_{O_2} = x + \frac{y}{4} = \frac{w_C}{12} M_r + \frac{w_H}{4} M_r \quad (8)$$

кількість (кмоль) кисню O_2 на 1 кг пального становитиме:

$$\widetilde{L}_O = \frac{N_{O_2}}{M_r} = \frac{x + y/4}{12x + y} = \frac{w_C}{12} + \frac{w_H}{4} \quad (9)$$

а, маса (кг) кисню O_2 необхідна для окиснення 1 кг пального буде:

$$\widetilde{L}_O = \widetilde{L}_O M_{O_2} = \frac{32x + 8y}{12x + y} = \frac{8}{3}w_C + 8w_H \quad (10)$$

Таким чином, маса кисню, яка споживається з атмосферного повітря для повного згоряння пального (кг/ кг палива) становить:

$$m_{O_2} = 0,23 \cdot \alpha \cdot l_0 \quad (11)$$

де l_0 – стехіометричне число; α – коефіцієнт надлишку повітря в паливо-повітряній суміші.

Обравши об'ємну частку кисню O_2 в атмосферному повітрі за 21 % і масову частку – за 23,2 % [3, 5], можна обчислити стехіометричну кількість повітря, необхідну для повного згоряння пального [3]:

- кількість (кмоль) повітря на 1 кг пального:

$$L_0 = \frac{\widetilde{L}_O}{0,21} = \frac{1}{0,21} \cdot \frac{x + y/4}{12x + y} = \frac{1}{0,21} \cdot \left(\frac{w_C}{12} + \frac{w_H}{4} \right) \quad (12)$$

- маса (кг) повітря на 1 кг пального:

$$l_0 = \frac{\widetilde{L}_O}{0,232} = 138 \cdot \frac{x + y/4}{12x + y} = 138 \cdot \left(\frac{w_C}{12} + \frac{w_H}{4} \right) \quad (13)$$

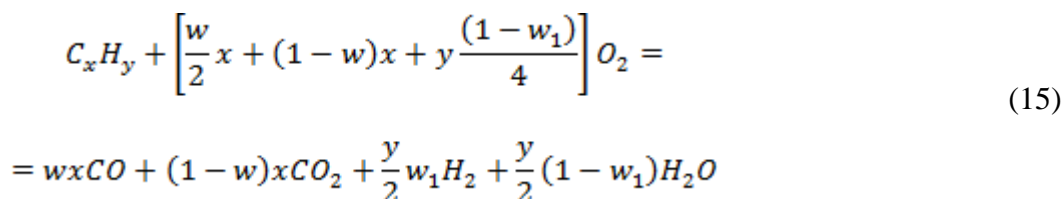
При цьому, коефіцієнт α надлишку повітря в (11) є відношенням кількості повітря G_π , яке міститься у паливо-повітряній суміші, до його (повітря) мінімальної кількості G_m , необхідної для повного згоряння пального, яке містить ця суміш:

$$\alpha = \frac{G_\pi}{G_\tau \cdot l_0} \quad (14)$$

де G_m – годинна витрата пального [кг/год]; $G_m \cdot l_0$ – мінімальна, теоретично необхідна для повного згоряння пального, кількість повітря [кг/год].

Якщо $\alpha=1$, то паливо-повітряна суміш має стехіометричний (теоретичний) склад, якщо $\alpha>1$ – суміш є збідненою, а якщо $\alpha<1$, то суміш збагачена паливом. Для дизельних двигунів номінальний режим роботи характеризується показником $\alpha=1,4-2,2$ [3].

У випадку, коли кількість кисню буде меншою за стехіометричну, окислення буде неповним: частина вуглецю окислиться лише до CO , а частина водню взагалі не згорить. Окислення вуглеводневої молекули C_xH_y відбувається за рівнянням:



де w – масова частка вуглецю, окисленого до CO ; w_1 – масова частка водню, що не згорів; x – маса вуглецю в молекулі пального; y – маса водню в молекулі пального.

В продуктах згоряння пального в цьому випадку виявляються водень (N_{H_2}), який не згорів, та оксид вуглецю (N_{CO}):

$$\begin{cases} N_{CO} + N_{CO_2} = x \\ N_{H_2} + N_{H_2O} = \frac{y}{2} \end{cases} \quad (16)$$

або на 1 кг пального (кмоль):

$$\begin{cases} N_{CO} + N_{CO_2} = \frac{w_C}{12} \\ N_{H_2} + N_{H_2O} = \frac{w_H}{2} \end{cases} \quad (17)$$

Із зменшенням кількості кисню в продуктах згоряння збільшується вміст CO та H_2 , а вміст H_2O та CO_2 – зменшується. За умови $w_I = w = 1$ в продуктах згоряння буде міститись лише CO та водень H_2 , який не згорів. Відповідне рівняння окиснення матиме вигляд [3]:



Кількість кисню (кмоль) $N_{O_2} = x/2$ відповідає умові, відповідно до якої кількість атомів водню C дорівнює кількості атомів кисню O , тобто:

$$\frac{C}{O} = 1 \quad (19)$$

При подальшому збільшенні у паливо-повітряній суміші вмісту кисню O , тобто:

$$\frac{C}{O} > 1 \quad (20)$$

в продуктах згоряння виявляється вуглець, що не згорів, у вигляді сажі.

Методика оцінювання балансу газових викидів автотранспортними потоками. На рис.1 наведено розроблену принципову схему утворення токсичних та шкідливих викидів автотранспортним засобом, який обладнано чотиритактним двигуном внутрішнього згоряння.

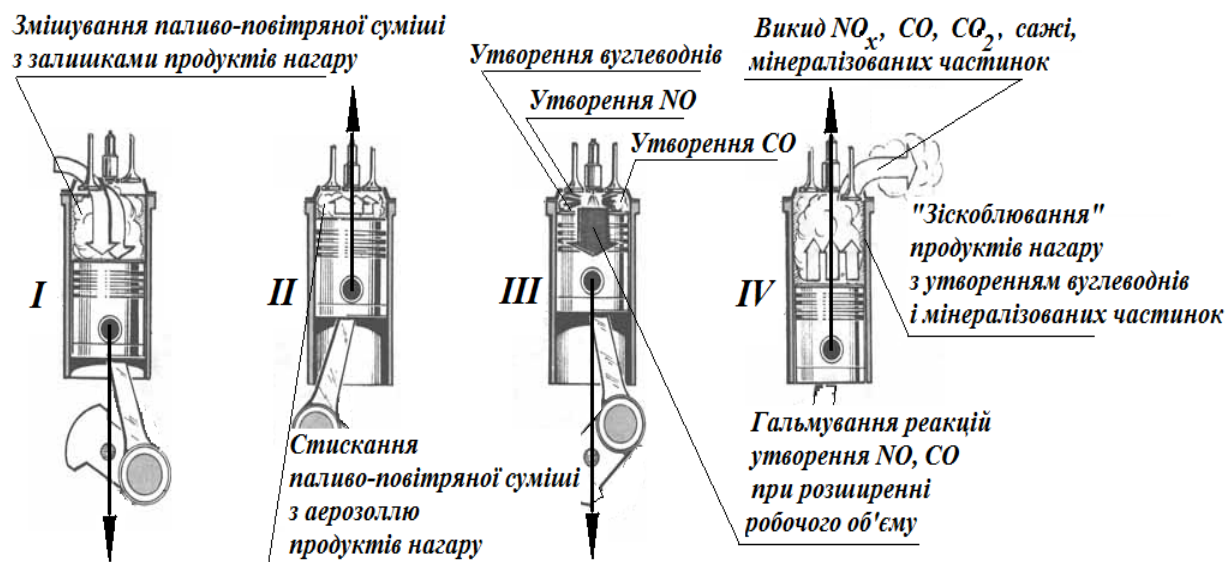


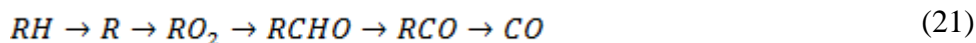
Рис. 1. Принципова схема утворення токсичних та шкідливих викидів автотранспортним засобом, який обладнано чотиритактним двигуном внутрішнього згоряння: I, II, III, IV – порядок робочих тактів двигуна

Шкідливі і токсичні гази у викидах двигунів внутрішнього згоряння можна поділити на такі групи:

- вуглецевмісні речовини – продукти повного та неповного згоряння пального (CO_2 , CO , вуглеводні, в тому числі ароматичні і поліциклічні);
- оксиди азоту (N_xO_y), які, як правило, приведені до NO ;

- речовини, утворення яких пов'язане з наявністю домішок у пальному (сполуки сірки, важких металів та їх оксидів).

Монооксид вуглецю CO утворюється в результаті згоряння пального з певним дефіцитом повітря, а також при дисоціації CO_2 . Послідовність утворення CO може бути представлена як:



Реакція радикалу RCO , яка призводить до утворення CO відбувається в результаті одночасної взаємодії з чотирма компонентами:



Окрім цього, частинки сажі, які утворені при “зіскоблюванні” частинок нагару, створюють можливість для здійснення реакції типу:

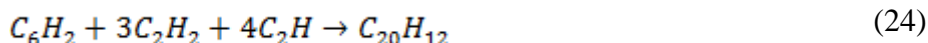


Диоксид вуглецю CO_2 є шкідливою речовиною, хоча і не належить до токсичних речовин. Типовою реакцією утворення CO_2 є реакція:



Окрім наведеної вище реакції (24), доокиснення CO в CO_2 відбувається у вихлопній трубі двигуна, а також у нейтралізаторних пристроях сучасних двигунів.

Вуглеводні (до десятка різних найменувань) утворюються в результаті неповного згоряння пального, зокрема при гальмуванні реакції горіння поблизу стінок циліндра двигуна. Максимальний рівень токсичності вуглеводнів має бенз(а)пірен $C_{20}H_{12}$. Реакція утворення $C_{20}H_{12}$ при піролізі вуглеводневого пального має вигляд:



Оксиди азоту N_xO_y , складаються, як правило з таких сполук N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5 . Для практичних розрахунків перелічені вище сполуки приводять до NO . При горінні збіднених паливо-повітряних сумішей ($\alpha > 0,8$) характерними є ланцюгові реакції:



В збагачених паливо-повітряних сумішах ($\alpha < 0,8$) відбуваються такі реакції:



Рух автотранспортних засобів у складі щільних транспортних потоків значно відрізняється від режиму руху одиничного транспортного засобу. Пов'язана з цим зміна режиму роботи сукупності двигунів потоку призводить до зміни не лише витрат пального, але і до зміни структури, складу та обсягів викидів. В загальному вигляді викиди M_s [кг/год.×км] шкідливих речовин автотранспортними потоками можуть бути визначені як [3]:

$$M_s = \sum_i \sum_j \sum_n B_i \cdot J_j \cdot N \quad (27)$$

де B_i – питома кількість витраченого пального, кг/км;

J_j – питомий викид шкідливої (токсичної) речовини, кг/кг;

N – інтенсивність автотранспортного потоку.

Статистична усереднена питома кількість витрати пального фізичною автотранспортною одиницею становить при частці вантажного автотранспорту і автобусів в транспортному потоці [4]: $S \geq 25\%$ – $B_s = 0,21$ кг/км, при $5\% < S < 25\%$ – $B_s = 0,18$ кг/км, при $S \leq 5\%$ – $B_s = 0,11$ кг/км. При цьому, значення J_j становлять для CO – $201,8 \times 10^{-3}$ [кг/кг], CO_2 – 3183×10^{-3} [кг/кг], N_xO_y – $21,2 \times 10^{-3}$ [кг/кг], вуглеводні, в тому числі ароматичні і поліциклічні ($C_{20}H_{12}$) – $33,1 \times 10^{-3}$ [кг/кг].

Таким чином, з урахуванням інтенсивності N автотранспортного потоку отримуємо значення M_s [кг/год.×км]:

$$M_s = \frac{B_s \cdot J_s \cdot N}{24} \quad (28)$$

При цьому:

$$B_s = \varphi(S) \quad (29)$$

Результати інвентаризації газових викидів автотранспортними потоками в залежності від їх інтенсивності та категорії автомобільної, визначені на підставі виразу (28), наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Обсяги викидів сажі автотранспортними потоками, кг/год.×км

Категорія автомобільної дороги	Інтенсивність автотранспортного потоку, авт./добу	Забруднюючий інгредієнт	Частка вантажних автомобілів і автобусів у автотранспортному потоці		
			$S < 5\%$	$5\% < S < 25\%$	$S \geq 25\%$
I-а, I-б	> 10000	CO	9,25	15,13	17,59
		CO_2	145,89	238,72	278,51
		N_xO_y	0,97	1,59	1,86
		Вуглеводні	1,52	2,48	2,90
II	3000 – 10000	CO	6,45	10,55	12,31
		CO_2	102,12	167,11	194,96
		N_xO_y	0,68	1,11	1,30
		Вуглеводні	1,06	1,74	2,03
III	1000 – 3000	CO	1,84	3,01	3,65
		CO_2	29,18	47,75	55,71
		N_xO_y	0,20	0,32	0,37
		Вуглеводні	0,31	0,50	0,59
IV	150 – 1000	CO	0,55	1,02	1,08
		CO_2	8,75	14,32	16,71
		N_xO_y	0,06	0,09	0,11
		Вуглеводні	0,09	0,15	0,17
V	< 150	CO	0,09	0,15	0,18
		CO_2	1,46	2,39	2,78
		N_xO_y	0,01	0,02	0,02
		Вуглеводні	0,02	0,02	0,03

Висновок. Результати аналітичного оцінювання обсягів газових викидів автотранспортними потоками дозволяють встановити, що їх обсяги визначаються в першу чергу інтенсивністю і часткою вантажних автомобілів у транспортному потоці, режимом руху транспортних засобів та обсягами витрат пального. При цьому, обсяги викидів токсичних і шкідливих речовин для автомобільних доріг категорій I-а і I-б по окремих

інгредієнтах можуть досягати: CO – 17,59 кг/год.×км, CO_2 – 278,51 кг/год.×км, N_xO_y – 1,86 кг/год.×км, вуглеводням – 2,90 кг/год.×км.

Література

- 1 Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 1.: Учеб. для вузов / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев – М.: Транспорт, 1979. – 367 с.
- 2 Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 2.: Учеб. для вузов / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев – М.: Транспорт, 1987. – 415 с.
- 3 Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология: Учеб. для вузов / Под ред. В.Н.Луканина / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высш. шк., 2001. – 273 с.
- 4 Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів / Затверджено: Наказ Держкомстату України. – 13.11.2008 №452. Електронний ресурс - Режим доступу: <http://ukrstat.org/>.
- 5 Ямборак Р.С. Інженерна екологія. Ч.Ч. Хімічна екологія Навч. посібник / За ред. Б.А. Шелудченка / Р.С. Ямборак, Б.А. Шелудченко, І.А. Шелудченко. – Кам'янець-Подільський: В-во ФОП Сисин О.В., 2011. – 164 с.

© Л. С. Шелудченко

Надійшла до редакції 29 вересня 2017 р.
Рекомендував до друку
докт. техн. наук Л. І. Челядин

УДК 66.021+66.048.3

Є. Ю. Черниш, Р. А. Васькін, О. М. Яхненко
Сумський державний університет

РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ УТИЛІЗАЦІЇ ФОСФОГІПСУ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У статті розглянуто можливість використання фосфогіпсу, як вторинного сировинного продукту в технологіях захисту навколишнього середовища, а саме запропоновано технологічне рішення утилізації фосфогіпсу, як мінерального ресурсу, при комплексному очищенні стоків та мулових осадів для стимулювання розвитку необхідних еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Для реалізації процесу очищення газової фази із анаеробного блоку дефосфатації стоків та мулових осадів розроблено систему біоскруберу із завантаженням з гранул фосфогіпсу, що дозволяє забезпечити розширення можливостей екологічно безпечного використання фосфогіпсу в технологіях очищення забруднених компонентів середовища.

Ключові слова: захист навколишнього середовища, технологічне рішення, утилізація фосфогіпсу, очищення стоків та мулових осадів, очищення газової фази

The article focused on the technological developing of phosphogypsum using as a secondary raw material in environmental protection technologies, in particular, a technological solution for the phosphogypsum utilization as a mineral resource in the complex purification of wastewater and sewage sludge for the growth stimulating of the necessary ecological-trophic groups of microorganisms. The system of bioscrubber with phosphogypsum granules loading has been developed in order to realize the process of the gas phase purification from an anaerobic unit of dephosphation of wastewater and sewage sludge that allowed to expand the possibilities of ecologically safe use of phosphogypsum in the purification technologies of contaminated components of the environment.

Key words: environmental protection, technological solution, phosphogypsum utilization, treatment of wastewater and sewage sludge, gas phase purification